

3/5/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI

(c) 2000 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012090419 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1998-507330/199844

XRPX Acc No: N98-395525

Partial waves origin distance and direction measurement method -  
generating signal transmission transfer functions for measurement  
locations by stored sample values and from sensor or antenna positions  
and measurement locations

Patent Assignee: SUEDEUT RUNDFUNK ANSTALT OEFFENTLICHEN (SDER-N)

Inventor: PROSCH T A

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No Kind Date Applicat No Kind Date Week

DE 19710040 A1 19980924 DE 1010040 A 19970312 199844 B

Priority Applications (No Type Date): DE 1010040 A 19970312

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 19710040 A1 11 H04B-017/00

Abstract (Basic): DE 19710040 A

The method involves emitting modulated waves using one or several transmitters. The signal generated by the transmitter is determined uniquely at the time of the desired measurement of distance, direction and intensity. The generation of the signal is arranged such that the transmitter signal can be reconstructed. The transmitter is coupled with a receiver system via a sensor or an antenna in the wave field at different measurement locations with known or measured coordinates. The received signal is sampled and stored.

Transfer functions H for the measurement locations are generated by the stored sample values. Transfer functions K are calculated from the known or measured sensor positions or antenna positions. The transfer functions K define the transmission of signals with waves from the locations to a reference point with a given direction. The transfer functions are combined so that the resulting transfer functions describe the transmission of signals from the signal source via the locations to the reference point.

USE - E.g. for digital common wave network, mobile radio network, television transmission network measurements applicable for vehicle.

ADVANTAGE - Provides separate information relating to direction, distance and intensity. E.g. for representation on topographic map for spatial identification.

Dwg.1/6

Title Terms: WAVE; ORIGIN; DISTANCE; DIRECTION; MEASURE; METHOD; GENERATE;  
SIGNAL; TRANSMISSION; TRANSFER; FUNCTION; MEASURE; LOCATE; STORAGE;  
SAMPLE; VALUE; SENSE; ANTENNA; POSITION; MEASURE; LOCATE

Derwent Class: S01; W02; W06

International Patent Class (Main): H04B-017/00

International Patent Class (Additional): G01R-029/08; G01S-003/02

File Segment: EPI

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 10 040 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 04 B 17/00**  
G 01 S 3/02  
G 01 R 29/08

②1 Aktenzeichen: 197 10 040.6  
②2 Anmeldetag: 12. 3. 97  
④3 Offenlegungstag: 24. 9. 98

DE 197 10 040 A 1

⑦1 Anmelder:  
Süddeutscher Rundfunk -Anstalt des öffentlichen  
Rechts-, 70190 Stuttgart, DE

⑦4 Vertreter:  
Konle, T., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 81247 München

⑦2 Erfinder:  
Prosch, Theodor Astraion, Dr., 70839 Gerlingen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren zum Messen der Entfernungen und Richtungen der Entstehungsorte von Partialwellen sowie deren Intensität mit einem mobilen Empfangssystem

⑤7 Zum Messen der Entfernungen und Richtungen der Entstehungsorte von Partialwellen sowie deren Intensität mit einem mobilen Empfangssystem wird ein Wellenfeld benutzt, das künstlich erzeugt wird oder durch Streuung künstlicher Signale in der Umgebung entsteht. Ein einzelner Sender oder mehrere Sender strahlen beliebig modulierte Wellen ab, wobei das vom Sender erzeugte Signal zum Zeitpunkt der gewünschten Messung von Entfernung, Richtung und Intensität eindeutig bestimmt ist, und zwar aufgrund einer Aufzeichnung des Sendesignals am Ort des Senders oder aufgrund einer Vorschrift, die bei der Erzeugung des Signals angewandt wird, so daß das Sendesignal wenigstens zeitweise rekonstruiert werden kann. Mit einem Empfangssystem wird in der Umgebung des Senders oder der Sender mittels eines Sensors oder einer Antenne in das Wellenfeld an unterschiedlichen Meßorten  $P_m$  mit bekannten oder gemessenen Koordinaten  $(x_m, y_m, z_m)$  eingekoppelt und das empfangene Signal abgetastet und gespeichert. Mittels der gespeicherten Abtastwerte des empfangenen Signals werden für die Orte  $P_m$  die Übertragungsfunktionen  $H_m$  oder deren Transformierte erzeugt. Mittels der bekannten oder gemessenen Sensorpositionen bzw. Antennenpositionen werden Übertragungsfunktionen  $K_{mn}$  oder deren Transformierte berechnet, welche die Übertragung eines Signals mit Wellen von den Orten  $P_m$  zu einem Bezugspunkt  $P$  auf Wegen der Wellenfronten mit den Richtungen  $R_n$  beschreiben. Die Übertragungsfunktionen ...

DE 197 10 040 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Messen der Entfernungen und Richtungen der Entstehungsorte von Partialwellen sowie deren Intensität mit Hilfe eines mobilen Empfangssystems in beliebigen Wellenfeldern, die durch Signalquellen erzeugt werden oder die durch Streuung von Signalquellen in der natürlichen Umgebung der Meßanordnung entsteht.

Für Messungen in unterbrechungsfrei betriebenen Übertragungssystemen, z. B. digitalen Gleichwellensendernetzen, Mobilfunknetzen oder Fernsendernetzen wird ein Meßverfahren vorgestellt, das sich für den Einsatz in Fahrzeugen eignet, um mit einer einzelnen am Fahrzeug angebrachten Antenne, die für sich genommen keine Richtwirkung aufzuweisen braucht, die Einfallswinkel, die Intensität und die Laufzeit von Partialwellen des Wellenfeldes bei Streckenfahrten mit hoher Auflösung zu bestimmen. Das Meßverfahren eignet sich für die topographische Kartierung des Streuquerschnitts für Wellen in der Meßumgebung. Hierdurch wird eine Visualisierung der Streuzentren im vernünftigen Bereich des Wellenspektrums erreicht. Für die Durchführung des Meßverfahrens reichen als Signalquellen die regulär für die jeweilige Anwendung betriebenen Signalquellen aus. Zusätzliche Signalquellen oder Sendeeinrichtungen sind nicht erforderlich. Auf die Implementierung spezieller Trainingssequenzen für Zwecke der Kanalsondierung kann verzichtet werden.

Für die Messung der Kanalimpulsantwort von Übertragungskanälen werden nach dem heutigen Stand der Technik entweder eigens für diesen Zweck konstruierte Kanalsonden eingesetzt, die mit einem Sender ein Prüfsignal (kodierter Puls) abstrahlen, dessen Echo empfangen wird und hinsichtlich der Laufzeit und Intensität ausgewertet wird (z. B. RUSK 300, RUSK 5000, Echolot, Radar), oder spezielle Zeichen bzw. Zeichenfolgen werden in die laufende Übertragung eines informationsbehafteten Signals integriert, deren Auswertung im Empfänger auf die Verzerrung im Übertragungskanal schließen lassen (z. B. Prüfzeile im Fernsehsignal, Phasenreferenzsymbol bei DAB, Referenzsymbol bei GSM). Durch Auswertung der Doppler-Verschiebung können mit aufwendigen Auswertalgorithmen (z. B. MMP, MUSIC) teilweise Rückschlüsse auf die Einfallrichtung von Partialwellen gezogen werden.

Für die richtungsmäßig hochselektive Sondierung einzelner Partialwellen von Wellenfeldern werden nach dem Stand der Technik einerseits Antennensysteme oder Sensorsysteme mit großen realen Aperturen eingesetzt, die durch phasenrichtige Zusammenschaltung von Einzelantennen oder durch entsprechende mechanische Ausformung eines einzelnen Sensors (Yagi-Antenne, Parabolantenne) erzeugt werden. Andererseits kann die reale Apertur wie bei Radaranwendungen mit geophysikalischem Bezug (Erderkundung vom Flugzeug oder Satelliten aus) synthetisiert (SAR) werden, indem die Aussendung pulsförmiger Radarsignale während der Bewegung des Radargerätes wiederholt wird und die empfangenen Echosignale kombiniert und ausgewertet werden.

Es bestand insofern der Anreiz, ein Verfahren zu entwickeln, das mit kleinen Empfangsantennen oder Sensoren ohne ausgeprägte Richtwirkung zum Einsatz kommen kann, das sich ausschließlich auf die abgestrahlten Signale eines regulär betriebenen Übertragungssystems abstützt und das keine zusätzlichen Sender bzw. Signalquellen benötigt, um richtungsselektive Kanalimpulsantworten zu messen.

Die Erfindung beruht auf der Überlegung, daß mehrere Messungen der vollständigen Übertragungsfunktionen, welche die Mehrwegeausbreitung von Wellen zwischen einem Meßort und einer Sendestelle in der Summe charakterisieren, in geeigneter Weise durchgeführt und ausgewertet werden können, um die Richtung, die Intensität und die Laufzeitdifferenzen der zu der vollständigen Übertragungsfunktion beitragenden Partialwellen bestimmen zu können. Die vollständige Übertragungsfunktion kann leicht mit Antennen oder Sensoren kleiner Abmessung gemessen werden. Die Bestimmung der Übertragungsfunktion der Partialwellen, welche die richtungsabhängige Information über Laufzeit und Intensität des Wellenausbreitung beinhaltet, erfolgt erfindungsgemäß durch mehrere, zeitlich sequentiell aufeinander folgende Messungen der vollständigen Übertragungsfunktion eines Wellenfeldes an verschiedenen Orten, deren Koordinaten gleichfalls bestimmt werden oder anderweitig bekannt sind und mit den gemessenen Übertragungsfunktionen rechnerisch in Zusammenhang gebracht werden. Das Verfahren kann für alle Arten der Wellenausbreitung angewendet werden, insbesondere bei elektromagnetischen und akustischen Anwendungen.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die erfindungsgemäß bestimmbareren Übertragungsfunktionen der Partialwellen die relativ zum Meßort richtungsmäßig getrennte Information bezüglich Laufzeit und Intensität liefern. Dies ermöglicht die Darstellung der wirksamen Streuer in der Umgebung des Meßortes z. B. auf einer topographischen Karte und damit deren räumliche Identifizierung. Weiterhin läßt sich in Gleichwellensendernetzen, wie sie zum Beispiel für Zwecke der Verbreitung des digitalen Rundfunks errichtet und betrieben werden, die Richtung zu den Sendern bestimmen, die zu der Summenfeldstärke beitragenden senderspezifischen Intensitäten ermitteln, Intersymbolinterferenz quantifizieren, und die Wirkung der Streueigenschaften der Umgebung auf die von den einzelnen Sendern einfallenden Wellen untersuchen. Dadurch läßt sich die Optimierung von Senderkonfigurationen im Gleichwellenbetrieb auf der Grundlage von Messungen realisieren, die während des Regelbetriebs eines solchen Sendernetzes durchgeführt werden können.

Das Verfahren wird im folgenden zunächst anhand eines einfachen Beispiels erläutert, das sich ohne Beschränkung der Allgemeinheit auf elektromagnetische Wellen bezieht. Von diesem Beispiel ausgehend wird aufgezeigt, daß das erfindungsgemäße Verfahren allgemein anwendbar ist. Schließlich wird das Ergebnis einer praktisch ausgeführten Messung erläutert und dargestellt.

Die Aufgabe besteht darin, für einen Ort P in einem Meßgebiet die richtungsabhängigen Übertragungsfunktionen der Partialwellen  $H_n$  eines Wellenfeldes durch Messung der Übertragungsfunktionen an Orten  $P_1, \dots, P_m$  in der Umgebung von P zu bestimmen, ohne daß zusätzliche Bedingungen bezüglich der Richtwirkung der Meßantenne zu erfüllen sind. Der Lösungsansatz wird zunächst an einem Beispiel erläutert, bei dem zwei Partialwellen betrachtet werden, die das Wellenfeld ausbilden.

**Fig. 1** veranschaulicht die Situation. Von einem Sender TX wird ein hochfrequentes elektromagnetisches Signal abgestrahlt. Im Meßgebiet M trifft das Sendesignal auf zwei unterschiedlichen Wegen ein, zum einen auf dem direkten Verbindungsweg, zum anderen auf einem Umweg, der durch Streuung oder Reflexion zustande kommt. Im Meßgebiet wei-

sen die Teilsignale im allgemeinen unterschiedliche Laufzeiten und unterschiedliche Amplituden auf. Eine im Wellenfeld befindliche Antenne, die keine Richtwirkung aufweist, liefert ein Ausgangssignal, das der Überlagerung der beiden Partialwellen entspricht.

Der Übertragungskanal zwischen Senderstandort und Empfangsort läßt sich durch die Kanalimpulsantwort  $KI(t, \tau)$  bzw. deren Fourier-Transformierte, die Übertragungsfunktion  $H(\omega, \tau)$  beschreiben. Die Kanalimpulsantwort  $KI(t, \tau)$  ist als Integralkern definiert

$$U_a(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} KI(t, \tau) \cdot U_s(\tau) d\tau \Leftrightarrow U_a(\omega) = H(\omega, \tau) \cdot U_s(\omega) \quad (1)$$

wobei  $U_s(t)$  bzw.  $U_s(\omega)$  das in die Sendeantenne eingespeiste Signal bezeichnet und  $U_a(t)$  bzw.  $U_a(\omega)$  das von der Empfangsantenne abgegebene Signal ist;  $\tau$  ist dabei die Laufzeitverzögerung, die sich bei der Übertragung des Sendesignals auf dem Funkweg ergibt,  $\omega$  die Winkelfrequenz des Signals. Meßtechnisch sind die Kanalimpulsantwort bzw. die Übertragungsfunktion zugänglich, wenn das Sendesignal und das Empfangssignal bekannt sind; im einfachsten Fall liefert der komplexe Quotient der Fourier-Transformierten von Empfangssignal und Sendesignal das gewünschte Ergebnis.

Im hier betrachteten Fall setzt sich die gemessene Übertragungsfunktion  $H_g(\omega, \tau)$  aus den Übertragungsfunktionen  $\Pi_1(\omega, \tau)$  und  $H_2(\omega, \tau)$  zweier Partialwellen zusammen, weil die Empfangsantenne gemäß Voraussetzung keine Winkelauflösung besitzt. Der Zusammenhang lautet

$$H_g(\omega, \tau) = \Pi_1(\omega, \tau) + H_2(\omega, \tau) \quad (2)$$

Um die den beiden Partialwellen zugehörigen Übertragungsfunktionen getrennt bestimmen zu können, wird bei der Messung wie in Fig. 2 angegeben verfahren. An den Orten  $P_1$  und  $P_2$  werden mit einer Rundantenne die Übertragungsfunktionen  $H_g^{P1}(\omega, \tau)$  und  $H_g^{P2}(\omega, \tau)$  gemessen.

Nimmt man an, daß sich beide Partialwellen in der betrachteten Umgebung der Orte  $P, P_1$  und  $P_2$  ungehindert ausbreiten und daß die Ausbreitung ohne Beschränkung der Allgemeinheit durch eine ebene Welle beschrieben werden kann, lassen sich folgende Zusammenhänge ableiten. Zwischen dem Erreichen des Ortes  $P_1$  und dem Erreichen des Ortes  $P$  einer Wellenfront der Partialwelle 1 vergeht die Zeitspanne

$$\Delta\tau_{11} = l_{11}/c \quad (3)$$

wobei  $l_{11}$  die auf die Ausbreitungsrichtung der Partialwelle 1 projizierte Länge des Abstands der Orte  $P$  und  $P_1$  ist und  $c$  die Ausbreitungsgeschwindigkeit bedeutet. Entsprechend findet man die Zeitspanne, die zwischen dem Erreichen des Ortes  $P_2$  und dem Erreichen des Ortes  $P$  der Wellenfront der Partialwelle 1 vergeht

$$\Delta\tau_{21} = l_{21}/c \quad (4)$$

Für die Wellenfront der Partialwelle 2 bezüglich der Orte  $P, P_1$  und  $P_2$  gilt entsprechend

$$\Delta\tau_{12} = l_{12}/c \quad (5)$$

$$\Delta\tau_{22} = l_{22}/c \quad (6)$$

Die zugehörigen Übertragungsfunktionen  $K_{m,n}(\omega, \Delta\tau_{m,n})$  für die Strecken  $l_{m,n}$  lauten

$$K_{m,n} = K(\omega, \Delta\tau_{m,n}) = \exp(i \frac{\omega}{c} l_{m,n}) \quad m = 1, 2 \quad n = 1, 2 \quad (7)$$

Die am Ort  $P_1$  gemessene Übertragungsfunktion  $H_g^{P1}(\omega, \tau)$  setzt sich aus den Übertragungsfunktionen der Partialwelle 1,  $\Pi_1^{P1}$ , und der Partialwelle 2,  $H_2^{P1}$ , zusammen; entsprechendes gilt für die am Ort  $P_2$  gemessene Übertragungsfunktion  $H_g^{P2}(\omega, \tau)$ .

$$H_g^{P1} = \Pi_1^{P1} + H_2^{P1}$$

$$H_g^{P2} = \Pi_1^{P2} + H_2^{P2} \quad (8a, b)$$

Am Ort  $P$  setzt sich die Übertragungsfunktion  $H_g$  aus den gesuchten Übertragungsfunktionen der Partialwellen  $\Pi_1$  und  $\Pi_2$  zusammen (s. Gl. 2). Die Übertragungsfunktion  $\Pi_1$  beschreibt die hintereinandergeschalteten Übertragungen der Partialwelle 1 und zwar (a) von ihrem Entstehungsort bis zum Ort  $P_1$ , und (b) vom Ort  $P_1$  bis zum Ort  $P$ . Für den Ort  $P_2$  bzw. für die Partialwelle 2 gilt entsprechendes.

$$\Pi_1 = \Pi_1^{P1} \cdot K_{1,1} = \Pi_1^{P2} \cdot K_{2,1}$$

$$\Pi_2 = \Pi_2^{P1} \cdot K_{1,2} = \Pi_2^{P2} \cdot K_{2,2} \quad (9a, b, c, d)$$

Daraus folgt

$$\begin{aligned}
 H_1 \cdot \frac{1}{K_{11}} + H_2 \cdot \frac{1}{K_{12}} &= H_1^{P_1} + H_2^{P_1} = H_g^{P_1} \\
 H_1 \cdot \frac{1}{K_{21}} + H_2 \cdot \frac{1}{K_{22}} &= H_1^{P_2} + H_2^{P_2} = H_g^{P_2}
 \end{aligned}
 \tag{10a,b,c,d}$$

Nach Auflösen des Gleichungssystems nach den Unbekannten  $H_1$  und  $H_2$  erhält man die gesuchten Übertragungsfunktionen der Partialwellen als Funktion der Meßgeometrie und der mit einer Rundantenne gemessenen Übertragungsfunktionen an den Orten  $P_1$  und  $P_2$ .

$$H_1 = \frac{K_{12} \cdot H_g^{P_1} - K_{22} \cdot H_g^{P_2}}{\left\{ \frac{K_{12}}{K_{11}} - \frac{K_{22}}{K_{21}} \right\}}
 \tag{11, 12}$$

$$H_2 = \frac{K_{11} \cdot H_g^{P_1} - K_{21} \cdot H_g^{P_2}}{\left\{ \frac{K_{11}}{K_{12}} - \frac{K_{21}}{K_{22}} \right\}}$$

Die Bedingung  $K_{11}/K_{12} \neq K_{21}/K_{22}$  ist durch geeignete Wahl der Meßorte  $P_1$  und  $P_2$  zu erfüllen.

Ausgehend von diesem einfachen Spezialfall mit zwei Partialwellen und zwei Messungen an unterschiedlichen Orten lassen sich die Gleichungen verallgemeinern; Gl. (7) weist bereits die gewünschte Form auf, allerdings läuft jetzt der Index  $m$ , der die Meßorte  $P_m$  abzählt, von  $1 \dots M$ , und der Index  $n$ , der die Anzahl der Partialwellen abzählt, von  $1 \dots Z$ . Die Gleichungen (8a, b) lassen sich durch

$$H_g^m = \sum_{n=1}^W H_n^m
 \tag{13}$$

ersetzen, die Gleichungen (9a, b, c, d) schreiben sich dann

$$\Pi_n = \Pi_n^m \cdot K_{m,n} \tag{14}$$

Die Gleichungen (10a, b, c, d) lassen sich in die Form

$$H_g^m = \sum_{n=1}^W H_n^m = \sum_{n=1}^W \frac{H_n}{K_{m,n}}
 \tag{15}$$

bringen.

Die Beziehungen (15) stellen ein lineares Gleichungssystem mit  $Z$  Gleichungen und  $W$  Unbekannten  $\Pi_n$  dar. Dieses ist für  $Z \geq W$  lösbar, falls

$$\text{Det} \left[ \frac{1}{K_{m,n}} \right] \neq 0.$$

Somit ist gezeigt, daß die Bestimmung der richtungsspezifischen Übertragungsfunktionen der Partialwellen auf die Lösung eines linearen Gleichungssystems zurückgeführt werden kann, dessen Koeffizienten durch die geometrische Anordnung der Meßorte und durch die mit Rundantenne gemessenen Übertragungsfunktionen an diesen Orten gegeben sind.

Für die Durchführung von Messungen ergeben sich aus dem abgeleiteten Ergebnis (15) mehrere Konsequenzen.

Zunächst ist festzuhalten, daß die  $\Pi_n$  nicht von spezifischen Eigenschaften des Sendesignals wie der Modulationsart und dem übertragenen Informationsinhalt abhängen. Maßgebend ist allein die Bandbreite des Sendesignals, welche die Genauigkeit der Messung des spektralen Verlaufs der Übertragungsfunktionen bestimmt. Hieraus kann abgeleitet werden, daß sich das Meßverfahren allgemein einsetzen läßt, z. B. für FM-, TV-, DAB-Sendernetze, es aber auch z. B. für akustische Anwendungen geeignet ist, z. B. für die Bewertung von Beschallungsanlagen, der Raumakustik, etc.

Weiterhin sind die Koeffizienten des linearen Gleichungssystems (15) unabhängig von der Zeit. Deshalb sind sowohl simultane als auch zeitlich aufeinander folgende Messungen der Übertragungsfunktionen  $\Pi_n^m$  an den Meßorten  $P_m$  zulässig. Hieraus kann gefolgert werden, daß das Meßverfahren anwendbar ist, wenn mindestens ein Empfangssystem verfügbar ist, das an unterschiedlichen Meßorten nacheinander zum Einsatz kommt. Dabei ist die Stabilität der Mehrwegeausbreitung Voraussetzung, d. h. der Ursprung der Partialwellen hat über die Zeit der sequentiellen Messung ortsfest zu

sein.

Schließlich ist festzuhalten, daß die Meßorte so zu legen sind, daß die Determinante der Matrix  $|1/K_{m,n}|$  nicht verschwindet. Diese Bedingung ist immer dann erfüllbar, wenn spezielle Symmetrien der Meßorte vermieden werden. Das Verfahren ist für 2D- und 3D-Messungen anwendbar. Dies betrifft sowohl die Richtungen der Partialwellen als auch die Konfiguration der Meßorte.

**Fig. 6** zeigt das Ergebnis einer praktisch ausgeführten Messung vom 10.2.1997, die in Stuttgart auf dem Gelände des Cannstatter Wasen stattfand. Für die Messung wurde ein DAB-Signal gemäß ETSI-Spezifikation verwendet, das auf der Frequenz 225.6 MHz von den Sendern Stuttgart-Degerloch und Stuttgart-Funkhaus synchron im Gleichkanalbetrieb ausgestrahlt wurde. Das DAB Signal übertrug den regulären Programm-Multiplex für das DAB-Pilotprojekt Baden-Württemberg. Das Meßsystem, bestehend aus Stabantenne mit Rundstrahlcharakteristik, Empfänger, Signalabtasteinrichtung, digitalem Speicher, Demodulator und Signalprozessor entsprechend **Fig. 5**, war fest in einem Kleinbus eingebaut. Die Bestimmung der Positionen der Meßorte erfolgte sowohl mit einem Satellitennavigations-System (GPS mit DGPS Korrektur, die über den UKW-Sender 92.2 MHz von Stuttgart-Degerloch aus übertragen wurde) als auch mit einem Drehwinkel-Impulsgeber, der mit der Tachowelle des Meßfahrzeugs mechanisch verkoppelt war. Das Meßfahrzeug wurde mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h bewegt.

Die Abtastung des frequenzmäßig heruntergemischten DAB-Signals erfolgte mit einer Abtastrate von 4.096 MSamples/s und einer Auflösung von 12 Bit. Sämtliche Frequenzgeneratoren und Impulsgeber waren phasenstarr gekoppelt und an ein mitgeführtes Frequenznormal angebunden.

Die Kanalimpulsantwort  $H_g$  des gesamten Übertragungskanals wurde alle 96 ns bestimmt. Jedes empfangene Phasenreferenzsymbol, repräsentiert durch 4096 Abtastwerten, wurde zu diesem Zweck Fourier-transformiert und durch die Fourier-Transformierte eines unter labormäßigen Bedingungen gemessenen Referenzphasensymbols komplex dividiert. Synchron wurden die Ortskoordinaten alle 96 ns registriert.

Die an 40 aufeinander folgenden Meßorten ermittelten Übertragungsfunktionen wurden entsprechend dem erlungsgemäßen Verfahren ausgewertet (siehe Gleichung 15). Die resultierenden richtungsspezifischen Übertragungsfunktionen wurden einer inversen Fourier-Transformation unterzogen, um die richtungsspezifischen Kanalimpulsantworten zu erhalten. Diese sind in **Fig. 6** für 36 unterschiedliche Richtungen dargestellt. Die Y-Achse ist logarithmisch unterteilt (Skalierung: dB), die X-Achse ist linear unterteilt und hat als Einheit den Reziprokwert der Abtastrate von 4.096 MHz, der etwa 250 ns beträgt.

Teilbild KI6 zeigt die richtungsselektive Kanalimpulsantwort für die Haupteinfallrichtung derjenigen Partialwelle, die vom Sender Stuttgart-Degerloch stammt. Teilbild KI33 zeigt die richtungsselektive Kanalimpulsantwort für die Haupteinfallrichtung derjenigen Partialwelle, die vom Sender Stuttgart-Funkhaus stammt. Die Laufzeitdifferenz beider Partialwellen läßt sich durch Vergleich der X-Achsenabschnitte der Maxima bestimmen; sie beträgt 13,8 µs, was einer Entfernungsdifferenz von 4,1 km entspricht und die tatsächlichen geographischen Verhältnisse widerspiegelt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen der Entfernungen und Richtungen der Entstehungsorte von Partialwellen sowie deren Intensität mit einem mobilen Empfangssystem in einem Wellenfeld, das künstlich erzeugt wird oder durch Streuung künstlicher Signale in der Umgebung entsteht, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

a) Ein einzelner Sender oder mehrere Sender strahlen beliebig modulierte Wellen ab, wobei das vom Sender erzeugte Signal zum Zeitpunkt der gewünschten Messung von Entfernung, Richtung und Intensität eindeutig bestimmt ist, aufgrund einer Aufzeichnung des Sendesignals am Ort der Senders oder aufgrund einer Vorschrift, die bei der Erzeugung des Signals angewandt wird, so daß das Sendesignal wenigstens zeitweise rekonstruiert werden kann.

b) Mit einem Empfangssystem wird in der Umgebung des Senders oder der Sender mittels eines Sensors oder einer Antenne in das Wellenfeld an unterschiedlichen Meßorten  $P_m$  mit bekannten oder gemessenen Koordinaten  $\{x_m, y_m, z_m\}$  eingekoppelt und das empfangene Signal abgetastet und gespeichert.

c) Mittels der gespeicherten Abtastwerte des empfangenen Signals werden für die Orte  $P_m$  die Übertragungsfunktionen  $H_m$  oder deren Transformierte erzeugt.

d) Mittels der bekannten oder gemessenen Sensorpositionen bzw. Antennenpositionen werden Übertragungsfunktionen  $K_{mn}$  oder deren Transformierte berechnet, welche die Übertragung eines Signals mit Wellen von den Orten  $P_m$  zu einem Bezugspunkt P auf Wegen der Wellenfronten mit den Richtungen  $R_n$  beschreiben.

e) Die Übertragungsfunktionen  $H_m$  und  $K_{mn}$  oder deren Transformierte werden miteinander verknüpft, so daß die resultierenden Übertragungsfunktionen  $\Pi_{mn}$  oder deren Transformierte die Übertragung des Signals von der Signalquelle ausgehend, über die Orte  $P_m$  führend, am Bezugspunkt P endend, beschreiben, wobei die Teilwege der Wellenfronten von  $P_m$  nach P in die Richtungen  $R_n$  führen.

f) Die Übertragungsfunktionen  $\Pi_{mn}$  oder deren Transformierte werden, nach den Richtungen  $R_n$  geordnet, superponiert.

2. Meßanordnung gemäß **Fig. 3** zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) Eine Antenne oder ein Sensor (10), welche das aus dem Wellenfeld ausgekoppelte Signal an ein Empfangssystem abgibt;

b) ein Empfangssystem (20), welches das empfangene Signal in eine für die Abtastung geeignete Frequenzlage und Pegellage umsetzt;

c) eine Abtastvorrichtung (30), die das empfangene Signal abtastet und in digitale Werte wandelt;

d) eine Vorrichtung (40), mit welcher die Position der Meßantenne für die weitere Signalverarbeitung verfügbar gemacht wird;

e) einen digitalen Speicher (50), der die digitalisierten Abtastwerte des Signals und die Ortskoordinaten der Antenne oder des Sensors aufnimmt;

f) einen Signalprozessor (60), der aus den gespeicherten Abtastwerten und Koordinaten die richtungsselektiven Kanalimpulsantworten oder deren Transformierte bestimmt.

3. Meßanordnung gemäß Fig. 4 zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) Eine Antenne oder ein Sensor (10), welche das aus dem Wellenfeld ausgekoppelte Signal an ein Empfangssystem abgibt;

b) ein Empfangssystem (20), welches das empfangene Signal in eine für die Abtastung geeignete Frequenzlage und Pegellage umsetzt;

c) eine Abtastvorrichtung (30), die das empfangene Signal abtastet und in digitale Werte wandelt;

d) eine Vorrichtung (40), mit welcher die Position der Meßantenne für die weitere Signalverarbeitung verfügbar gemacht wird;

e) einen digitalen Speicher (50), der die digitalisierten Abtastwerte des Signals und die Ortskoordinaten der Antenne oder des Sensors aufnimmt;

f) ein Konvertersystem (120), welches das vom Sender (180) an die Antenne oder den Erreger des Wellenfeldes (100) abgegebene Signal in eine für die Abtastung geeignete Frequenzlage und Pegellage umsetzt;

g) eine Abtastvorrichtung (130), die das Sendesignal abtastet und in digitale Werte wandelt;

h) einen digitalen Speicher (150), der die digitalisierten Abtastwerte des gesendeten Signals aufnimmt;

i) einen Signalprozessor (60), der aus den gespeicherten Abtastwerten und Koordinaten die richtungsselektiven Kanalimpulsantworten oder deren Transformierte bestimmt.

4. Meßanordnung gemäß Fig. 5 zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) Eine Antenne oder ein Sensor (10), welche das aus dem Wellenfeld ausgekoppelte Signal an ein Empfangssystem (20) abgibt;

b) ein Empfangssystem (20), welches das empfangene Signal in eine für die Abtastung geeignete Frequenzlage und Pegellage umsetzt;

c) eine Abtastvorrichtung (30), die das empfangene Signal abtastet und in digitale Werte wandelt;

d) eine Vorrichtung (40), mit welcher die Position der Meßantenne oder des Sensors für die weitere Signalverarbeitung verfügbar gemacht wird;

e) einen digitalen Speicher (50), der die digitalisierten Abtastwerte des empfangenen Signals und die Position der Meßantenne oder des Sensors aufnimmt;

f) einen sendeseitigen Coder (120) und ein sendeseitigen Modulator (130), welche die momentane Vorschrift, nach der das Sendesignal vom Sender (180) erzeugt wird, dem Sendesignal aufprägen;

g) eine empfängerseitige Demodulationseinrichtung und eine empfängerseitige Dekodiereinrichtung (80), welche die Vorschrift detektieren, entsprechend der das Sendesignal erzeugt wurde;

h) einen Signalprozessor (90), der aus den empfängerseitig demodulierten und dekodierten Vorschriften, nach denen das Sendesignal erzeugt wird, das Sendesignal rekonstruiert;

i) einen Signalprozessor (60), der aus den gespeicherten Abtastwerten und Koordinaten die richtungsselektiven Kanalimpulsantworten oder deren Transformierte bestimmt.

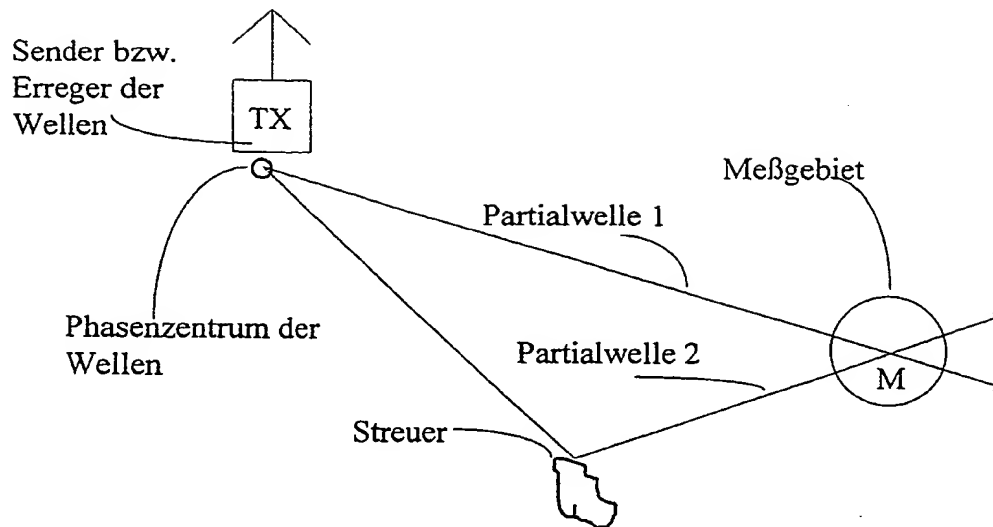
---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

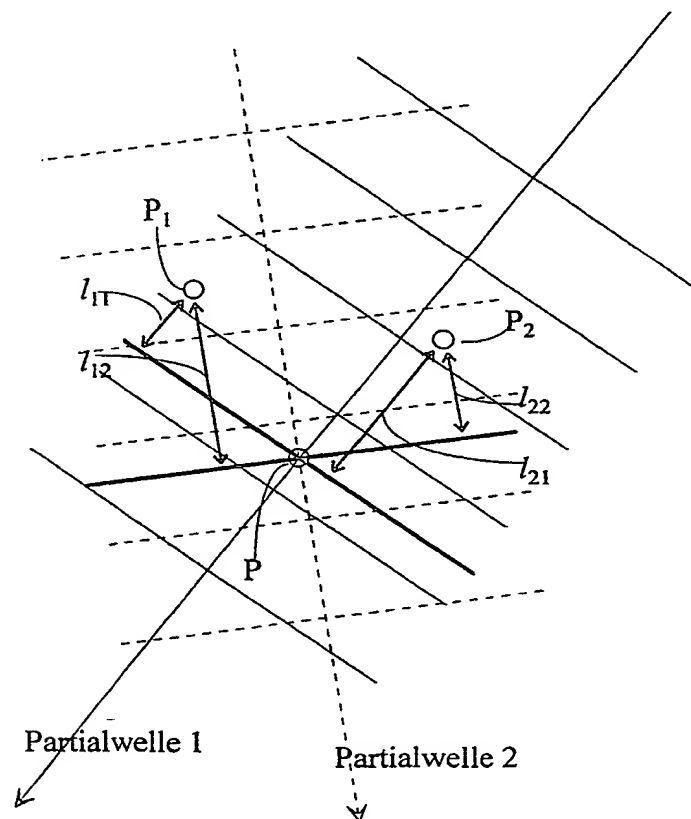
---



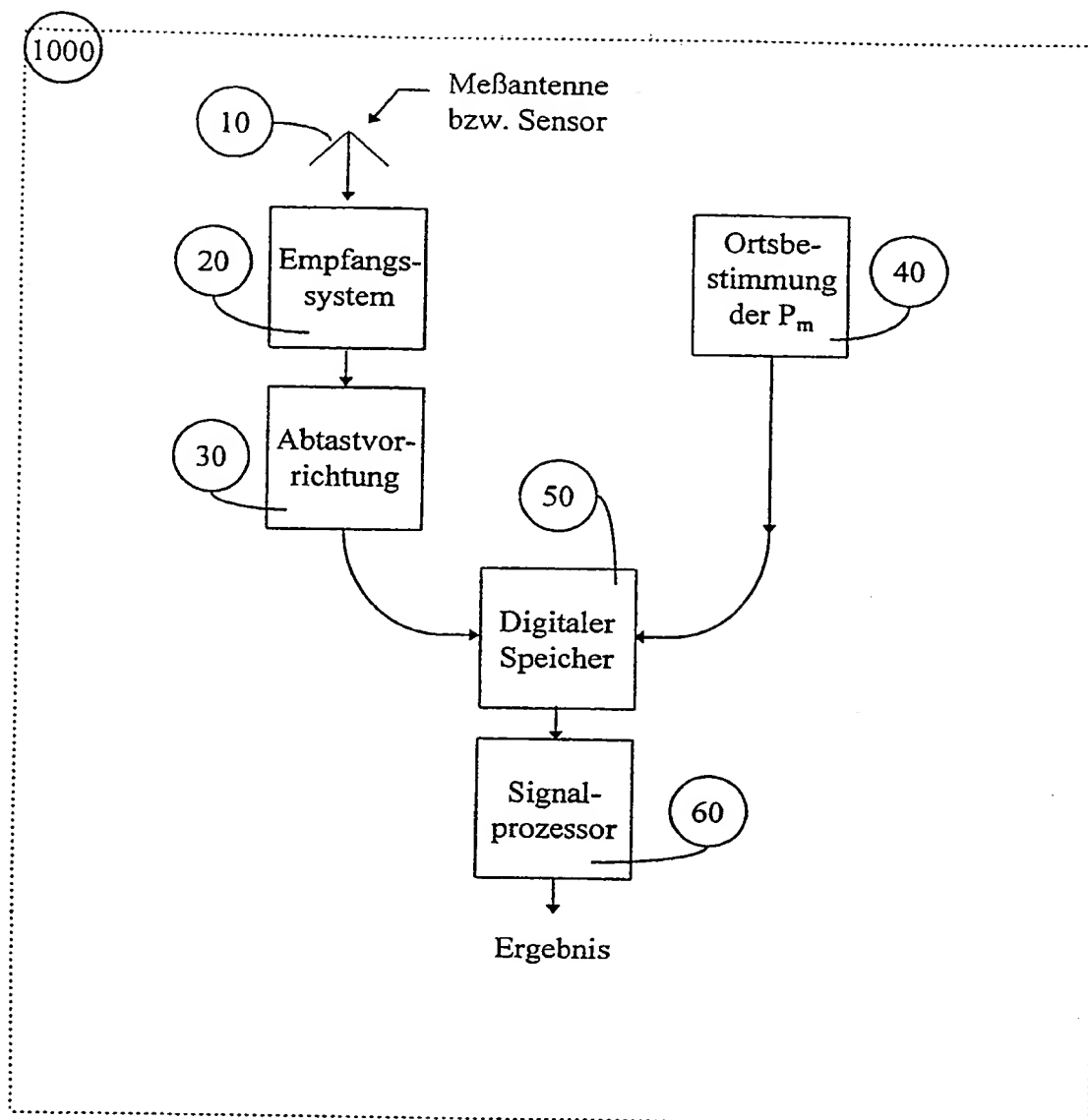
- Leerseite -



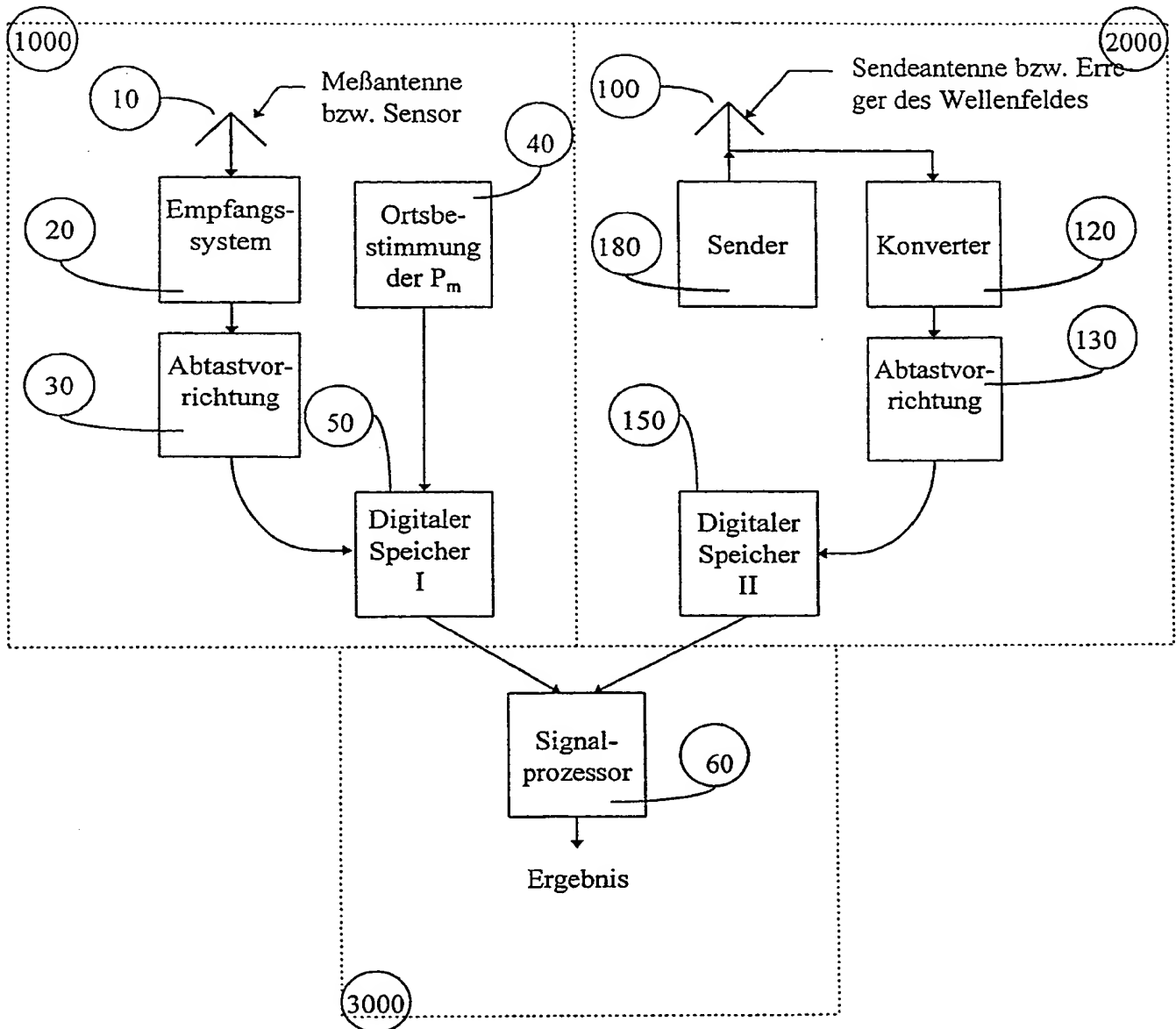
**Figur 1** Mehrwegeausbreitung von Wellen zwischen der Signalquelle TX und dem Meßgebiet M. Die beiden Partialwellen 1 und 2 bilden das gesamte Wellenfeld im Meßgebiet aus.



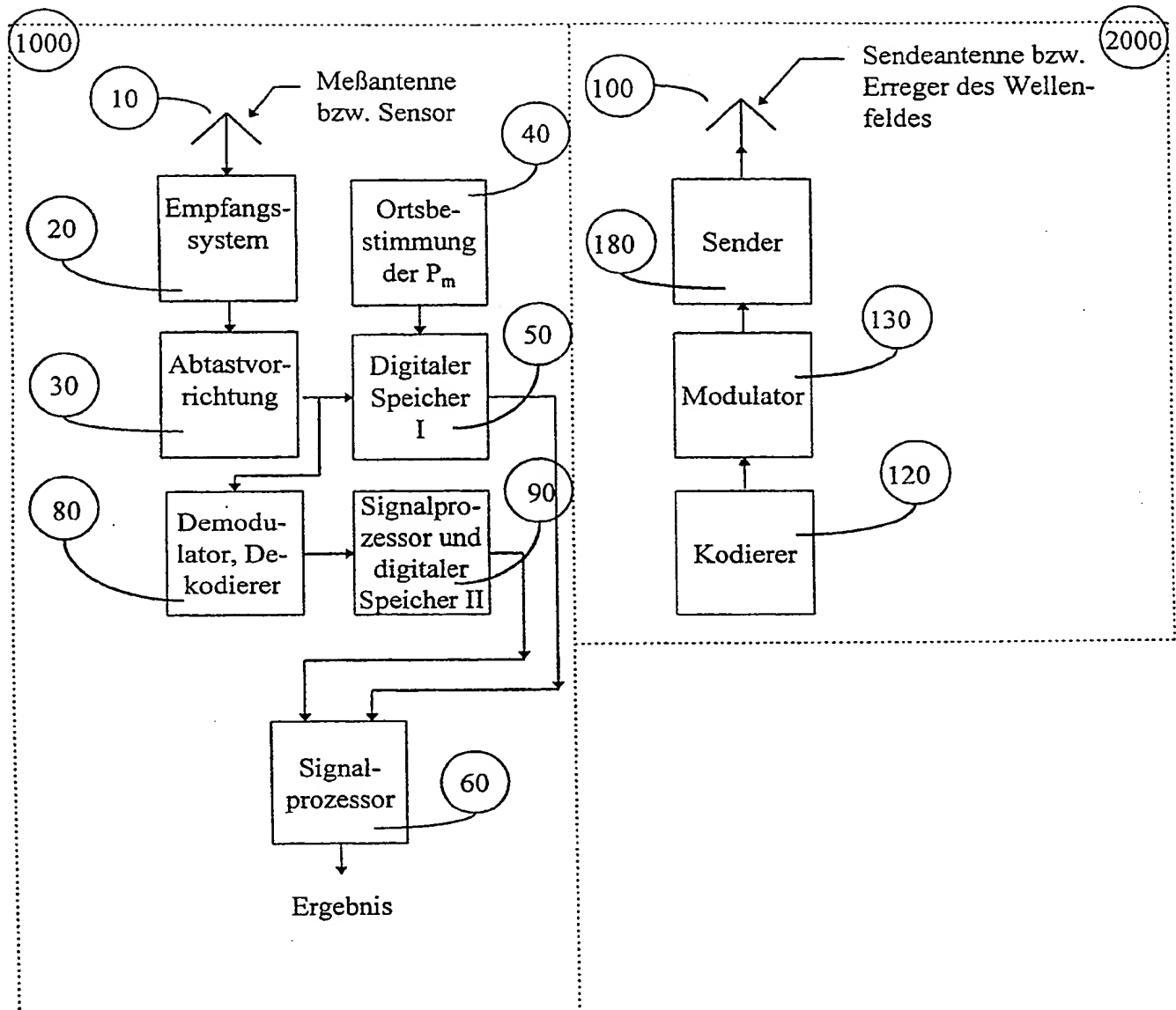
**Figur 2** Geometrische Lage der Meßorte  $P_1$  und  $P_2$ , des Bezugsortes  $P$ , der Längen  $l_{mn}$  und der Einfallsrichtungen der Partialwellen.


**Figur 3**      Meßanordnung A

- |      |                                                                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1000 | bewegliches System zum Empfangen von Signalen                                                               |
| 10   | Meßantenne bzw. Sensor                                                                                      |
| 20   | Empfänger                                                                                                   |
| 30   | Abtastvorrichtung                                                                                           |
| 40   | Vorrichtung für die Ermittlung der Position der Meßantenne bzw. des Sensors                                 |
| 50   | Digitaler Speicher                                                                                          |
| 60   | Signalprozessor für die Verarbeitung der Signalabtastwerte und der Position der Meßantenne bzw. des Sensors |


**Figur 4** Meßanordnung B

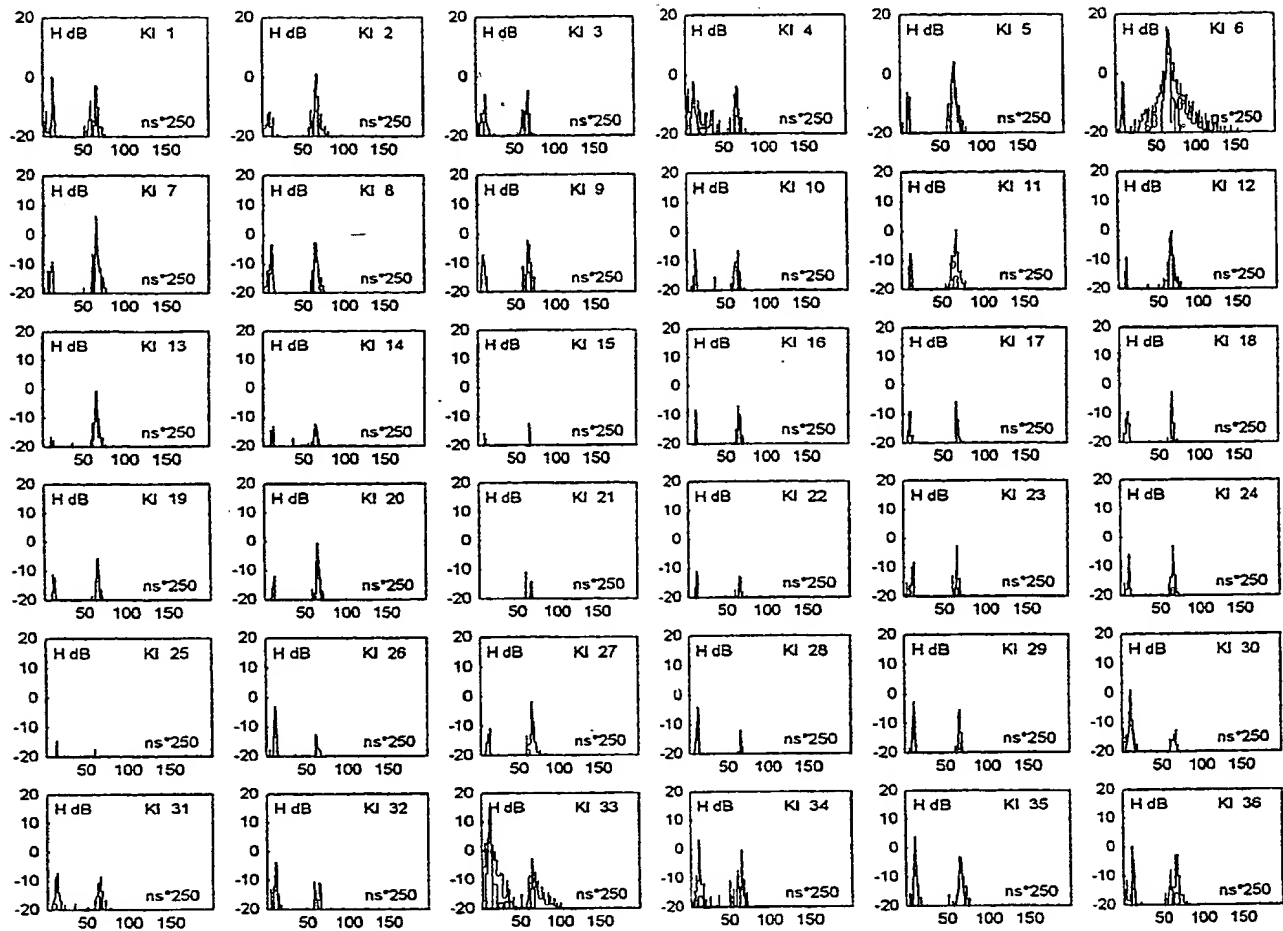
- |      |                                                                         |
|------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1000 | bewegliches System zum Empfangen von Signalen                           |
| 2000 | ortsfestes System zum Senden von Signalen                               |
| 3000 | System für die Signalverarbeitung                                       |
| 10   | Meßantenne bzw. Sensor                                                  |
| 20   | Empfänger                                                               |
| 30   | Abtastvorrichtung                                                       |
| 40   | Vorrichtung für die Bestimmung der Sensorposition bzw. Antennenposition |
| 50   | Digitaler Speicher                                                      |
| 60   | Signalprozessor                                                         |
| 100  | Sendeantenne bzw. Erreger des Wellenfeldes                              |
| 120  | Konverter                                                               |
| 130  | Abtastvorrichtung                                                       |
| 150  | Digitaler Speicher                                                      |



Figur 5 Meßanordnung C

- |      |                                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1000 | bewegliches System zum Empfangen von Signalen                               |
| 2000 | ortsfestes System zum Senden von Signalen                                   |
| 10   | Meßantenne bzw. Sensor                                                      |
| 20   | Empfänger                                                                   |
| 30   | Abtastvorrichtung                                                           |
| 40   | Vorrichtung für die Bestimmung der Position des Sensors bzw. der Meßantenne |
| 50   | Digitaler Speicher I                                                        |
| 60   | Signalprozessor                                                             |
| 80   | Demodulator und Dekodierer                                                  |
| 90   | Signalprozessor und Speicher für die Rekonstruktion des Sendesignals        |
| 100  | Sendeantenne bzw. Erreger des Wellenfeldes                                  |
| 120  | Kodierer                                                                    |
| 130  | Modulator                                                                   |
| 180  | Sender                                                                      |

## Richtungsselektive Kanalimpulsantworten



**Figur 6** Ergebnis einer Messung der richtungsselektiven Kanalimpulsantwort. Dargestellt ist die Amplitude der Kanalimpulsantwort (dB) über der Laufzeit (250\*ns) mit der Richtung als Parameter. KI6 zeigt die Kanalimpulsantwort für die Richtung zum Standort Stuttgart-Degerloch, KI33 zeigt die Kanalimpulsantwort für die Richtung zum Standort Funkhaus.

**Sendesignal:** DAB, KI2, Block B, ausgestrahlt von den Sendern Stuttgart-Degerloch (100W ERP) und Stuttgart-Funkhaus (100W ERP), vertikal polarisiert, im synchronisierten Gleichwellenbetriebsmode.

**Meßort und -zeit:** Stuttgart, Cannstatter Wasen, 10.2.1997, 10:30

**Meßsystem:** Kleinbus mit Stabantenne über Dach, Anordnung gemäß Figur 5

**Durchführung:** Streckenfahrt mit 30 km/h, verfahrensgemäße Auswertung der an 40 Meßorten bestimmten Übertragungsfunktionen